

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

地震波トモグラフィーと高サンプリング GPS 観測に基づくマグマ上昇・蓄積過程の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-2) 火山噴火準備過程

ア．マグマ上昇・蓄積過程

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

イ．上部マントルとマグマの発生場

3. 新たな観測技術の開発

(2) 宇宙技術等の利用の高度化

ア．宇宙測地技術

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

噴火準備過程の場となるマグマ供給系の分布・形態とその時間変化の解明を目指して、以下の多面的な観測・研究を実施する。1) 日本列島における火山地域を対象に、自然地震や人工地震などの各種の地震観測データを統合し、反射波や変換波をも用いた高精度のトモグラフィー解析を行い、上部マントルから地表に至るマグマ供給系の分布と形態をより詳細に明らかにする。2) 岩手火山地域において高サンプリング稠密 GPS 観測を実施し、伊豆大島などの活動的な火山との比較により、噴火間隔が長い火山におけるマグマ蓄積期における山体変動の特徴と多くの火山における共通の特性を明らかにする(東京大学地震研究所との共同研究)。3) 火山活動が活発化している桜島において準リアルタイム高サンプリング GPS 観測を実施して、噴火直前におけるマグマ蓄積過程の時間発展を明らかにする(京都大学防災研究所との共同研究)。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、1) 高精度トモグラフィーを実施するための統合データベースを作成する。微小地震観測網、火山観測網、人工地震観測網、Hi-net など多岐にわたるデータ源から必要な情報を収集する。これを用いて暫定的な速度構造モデルを求める。2) 岩手火山地域において高サンプリング稠密 GPS 観測網を構築する。そのために必要な、商用電源や電話線が使用できない条件下でも長期間安定に稼働する観測システムを作り上げる。3) 火山活動が活発化している桜島において、マグマ供給系の直上にあたる山体北東部に高サンプリング GPS 観測点を設置する。あわせて、そのデータを準リアルタイムでモニターするためのデータ伝送システムをも構築する。

平成 22 年度～25 年度においては，1) 火山地域における地震観測統合データベースを用いて高精度トモグラフィ解析を実施し，上部マントルから地表に至るマグマ供給系の形態を詳細に可視化する．2) 岩手火山地域における GPS 観測の結果と伊豆大島での結果を比較することにより，マグマ蓄積期における山体変動の個別火山における特徴と共通な特性を明らかにする．3) 桜島における高サンプリング GPS 観測にもとづいて，噴火直前の浅部におけるマグマ蓄積過程の時間発展を解明する．

(7) 平成 22 年度成果の概要：

1. 高精度トモグラフィによる九州地方の火山におけるマグマ供給系の可視化

昨年度の中国地方に引き続き，九州地方の火山におけるマグマ供給系を解明するために，地殻・最上部マントルの P 波速度と方位異方性，S 波速度，およびポアソン比の 3 次元空間分布を求める高精度トモグラフィ解析を実施した．特に，霧島山から桜島に至る南九州については，P 波に加えてモホ面反射波 PmP 波を用いて下部地殻の分解能を向上させた．これらにより以下の結果が得られた．

(i) 九州地方の島弧・前弧域の下には，低速度・高ポアソン比の異常域が広く分布している．この異常域は，フィリピン海プレートの沈み込みにもともなう脱水によって生じたマグマや流体の存在を示す．

(ii) 高分解能解析の結果，桜島火山の直下では，マントルウェッジから地殻を貫いて地表へ続く低速度域の存在が明瞭に示された(図 1 a)．この低速度異常域は，桜島火山へのマグマ供給系の存在と分布形態を示すものと考えられる．この成果は，前項(6)の計画に合致するものである．

(iii) 一方，霧島火山下の低速度域の分布は断続的であり(図 1 b)，マグマ供給系の分布形態が桜島火山とは異なっている可能性がある．霧島火山地域の特徴は，低速度・高ポアソン比の異常域が下部地殻に広く分布することである(図 1 b)．PmP 波を用いた高分解能解析で得られた速度とポアソン比から，南九州の下部地殻において，crack density が約 20%，saturation rate が 75%以上と非常に高い値を得た．

2. 桜島火山における GPS 連続観測の強化とマグマ供給率の変化にもともなう地盤変動の検出

桜島火山におけるマグマ蓄積過程を明らかにするために，京都大学防災研究所と共同で高サンプリング GPS 連続観測を継続した．昨年設置の 2 点(北岳，権現)に加え，鹿馬野に 1 点を増設し(図 2 a)，現地収録の権現観測点をオンライン化して，観測を強化した．昨年，火山灰による太陽電池の出力低下で問題あった．実験でフッ素撥水剤が有効であることを確認し，対策を講じた．これまでのデータから火山活動に関連した長期変動や短期変動が見出された．北岳観測点は，2009 年 8 月～12 月は南東，2009 年 12 月～2010 年 6 月に東北東，10 月以降は再び南東へ変位し，長期的・短期的に変動していることが分かった(図 2 b,c)．傾斜・歪観測によればこの変動は桜島の膨張，収縮に対応しており，GPS で観測された変動は深部から桜島浅部へのマグマ供給率の増加，減少を反映していると考えられる．

3. 岩手火山における GPS および傾斜・歪連続観測による短期的地盤変動の検出と変動源の推定

噴火間隔が長い火山での噴火準備期間における山体変動の特徴を調べるため，岩手火山で GPS 連続観測ならびに傾斜・歪連続観測を継続した．GPS 観測では，前年度から開発していた安価堅牢な観測システムが完成したため，一部の観測点で新システムに置き換え，観測の安定化を図った．一方，傾斜・歪データから，2009 年 10 月～2010 年 4 月に南山麓が東西に広がり，その後若干もともどもどる変動が発生したことを見いだした(図 3 a,b)．変動源は 1998 年活動初期の震源域の直下に位置している(図 3 c)．今回の変動も，1998 年と同様に浅部へのマグマの供給によって生じたものと考えられる．

====平成 23 年度の成果====

1. 高精度トモグラフィによる東北日本島弧火山マグマ供給系の研究

沈み込み帯におけるマグマ上昇機構，島弧火山マグマ供給系の解明を目的として，東北日本弧全域を対象とする Regional Tomography と，中央部の栗駒火山を中心とする 2008 年岩手・宮城内陸地震震源域の Local Tomography を実施した．前者では，沖合に発生した地震の震源を海底面反射波を用いて高精度に再決定して用いることで解析領域を日本海側に拡大し，マントルウェッジのより深部まで信頼性の高い速度構造を得ることに成功した．その結果，下部地殻とモホ面直下のマントルでは，低速度域が火山フロントの各火山近傍に局在しているのに対して，マントルウェッジの深さ 100 km 付近では，低速度域が日本海の海岸線に沿う形で帯状に分布していることが新たに明らかになった(図 4)．

栗駒火山周辺の Local Tomography では、多数の余震を高密度観測網で記録したデータを用いることで、地殻内の詳細な P 波速度、S 波速度、ポアソン比分布を得た。栗駒火山直下では地表から下部地殻へ低速度・高ポアソン比の領域が伸びており、本震と 3 個の大きな余震は速度やポアソン比が急変する異常域周辺部に位置している(図 5)。異常域は、マグマやマグマ起源の流体の分布を示すものであり、2008 年岩手・宮城内陸地震はその影響で発生したと考えられる。

2. 岩手火山における GPS および傾斜・歪連続観測

岩手火山では、今年度も GPS 連続観測を継続して実施している。今後、老朽化した観測装置の更新を行い、リアルタイムモニタリングが可能なようにシステムを整備する。さらに、平行して実施している傾斜・歪連続観測を含めて、長期間にわたり蓄積されたデータについて再評価し、長期広域の変動と火山性変動の分離を試みる。その手始めとして、2009 年 10 月～2010 年 4 月に観測された短期変動の再解析を開始した。この変動現象は昨年度に解析を行ったものであるが、長期トレンドの評価を直前約 2 ヶ月間程度の短期間で行い、モデル計算では簡便的に地表面での計算値と観測値を比較したため、系統的な誤差が含まれる可能性がある。そこで、現象のより正確な理解を目指して再解析を行う。今回は、長期間のデータを用いてトレンドを推定することにより、前兆現象の有無をも検討する。また、モデル計算ではセンサーの埋設深度での変動量を推定して観測値と比較することでより正確な変動源推定を行う。

3. 桜島火山における GPS 連続観測

桜島火山における GPS 連続観測を京都大学と共同で継続している。設置から約 3 年が経過し、火山ガスによる腐食などのために障害が出始めているが、その都度対応し、連続観測を維持している。蓄積されたデータに基づき、今後、マグマ供給・蓄積過程の解明を目指す。

成果物

Zhao, D., S. Yu, and E. Ohtani, 2011, East Asia: Seismotectonics, magmatism and mantle dynamics, *J. Asian Earth Sci.*, 40, 689-709.

Huang, Z., D. Zhao, and L. Wang, 2011, Seismic heterogeneity and anisotropy of the Honshu arc from the Japan Trench to the Japan Sea, *Geophys. J. Int.*, 184, 1428-1444.

Cheng, B., D. Zhao, and G. Zhang, 2011, Seismic tomography and anisotropy in the source area of the 2008 Iwate-Miyagi earthquake (M 7.2), *Phys. Earth Planet. Inter.*, 184, 172-185.

(8) 平成 22 年度の成果に関連の深いもので、平成 22 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
井口正人・太田雄策・植木貞人・園田忠臣・高山鉄朗・市川信夫，2010，桜島火山の 2009 年以降昭和火口爆発頻発期における地盤変動，日本火山学会講演予稿集，2010 年度秋季大会，36。

Kiyosugi, K., C. Connor, D. Zhao, L. Connor, and K. Tanaka, 2010, Relationships between volcano distribution, crustal structure, and P-wave tomography: An example from the Abu monogenetic volcano group, SW Japan, *Bull. Volcanol.* 72, 331-340.

Nishimura, T. and S. Ueki, 2011, Seismicity and magma supply rate of the 1998 failed eruption at Iwate volcano, Japan, *Bull. Volcanol.* (accepted).

太田雄策・三浦 哲・松村信介・森 俊行，2010，低価格 2 周波 GPS 受信機とデータロガーを用いた GPS 観測システムの構築，測地学会誌，56，101-106。

太田雄策，植木貞人，井口正人，2010，桜島火山山腹における GPS 連続観測点の増設(2009 年度)，桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究，2009 年，55-58。

Wang, J. and D. Zhao, 2010, Mapping P-wave anisotropy of the Honshu arc from Japan Trench to the back-arc, *J. Asian Earth Sci.* 39, 396-407.

Wei, W., D. Zhao, and Y. Shi, 2010, Three-dimensional P-wave tomography of the volcanic areas in southwest Japan, *Earth Sci. Frontiers* 17(3), 149-157.

Zhao, D. and L. Liu, 2010, Deep structure and origin of active volcanoes in China, *Geoscience Frontiers* 1, 31-44.

Zhao, D., S. Ueki, Y. Nishizono, and A. Yamada, 2010, New seismic evidence for the origin of arc and back-arc magmas, In J. Ray, G. Sen, B. Ghosh (Eds.) Topics in Igneous Petrology, 117-132, Springer Press.

Zhao, D., S. Yu, and E. Ohtani, 2011, East Asia: Seismotectonics, magmatism and mantle dynamics. J. Asian Earth Sci. 40, 689-709.

(9) 平成 23 年度実施計画の概要 :

1 . 西南日本 , 九州以外の火山地域においても高精度トモグラフィーを実施し , 最上部マントルから上部地殻までの火山深部の 3 次元速度構造を求め , マントルウェッジから地表に至るマグマの分布形態・供給系路を明らかにする .

2 . 岩手火山において GPS 連続観測を継続して実施する . 一部の老朽化した機器を安価で堅牢な観測システムに更新し , リアルタイムモニタリングが可能なシステムにする . また , 傾斜・歪連続観測を含めたこれまでの長期観測で蓄積されたデータを用い , 長期広域の変動と火山性変動を分離して , 火山性変動の再評価を行う . 特に , 1998 年 2 月以前の先行現象の有無について注目しながら検討を行う .

3 . 京都大学防災研究所と共同で , 桜島のマグマ供給系直上の 3 点 (北岳 , 権現 , 鹿馬野) における GPS 連続観測を継続する . データ伝送系が整備されたことから , 仙台において桜島の変動を準リアルタイムでモニタリングできるようにし , 他種のデータとの対比を行い , マグマの蓄積にともなう山体変形を明らかにする .

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

趙 大鵬・植木貞人・太田雄策・岡田知巳・中島淳一・西村太志・他

他機関との共同研究の有無 : 有

東京大学地震研究所 火山噴火予知研究センター 森田裕一

京都大学防災研究所 火山活動研究センター 井口正人

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話 : 022-225-1950

e-mail : zisin-yoti@aob.geophys.tohoku.ac.jp

URL : <http://www.aob.geophys.tohoku.ac.jp/>

(12) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 植木貞人

所属 : 東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話 : 022-225-1950

FAX : 022-264-3292

e-mail : ueki@aob.geophys.tohoku.ac.jp

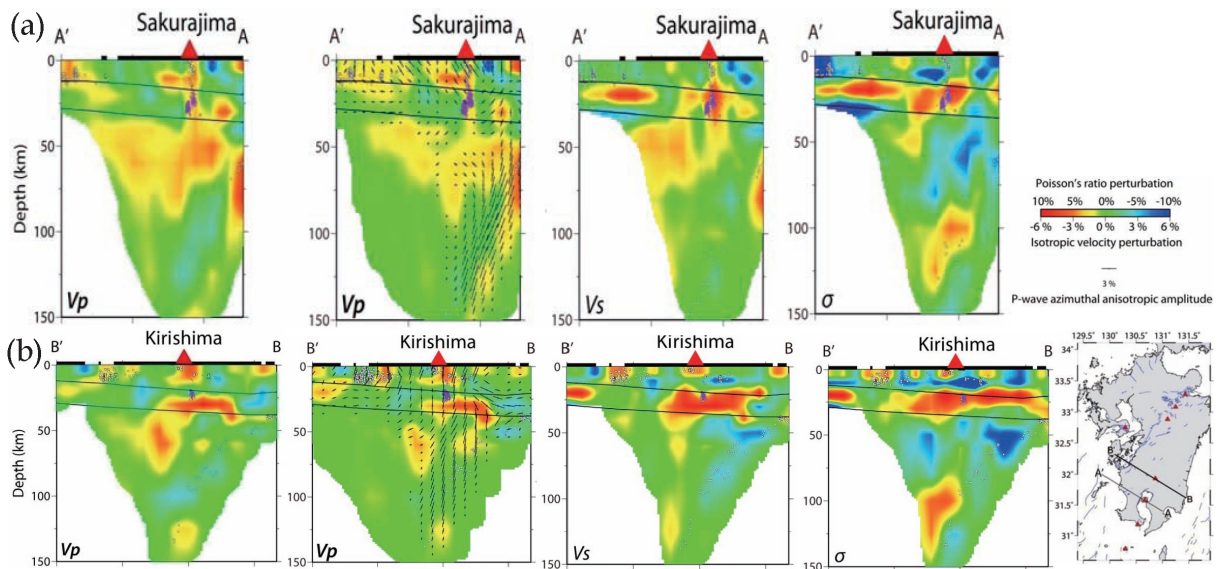


図 1 . 南九州火山地域の速度断面 .
 桜島火山 (a) ならびに霧島火山 (b) 下の北西 - 南東断面における , 左から順番に , P 波速度偏差 , P 波速度異方性 , S 波速度偏差 , ポアソン比偏差の深さ分布 .

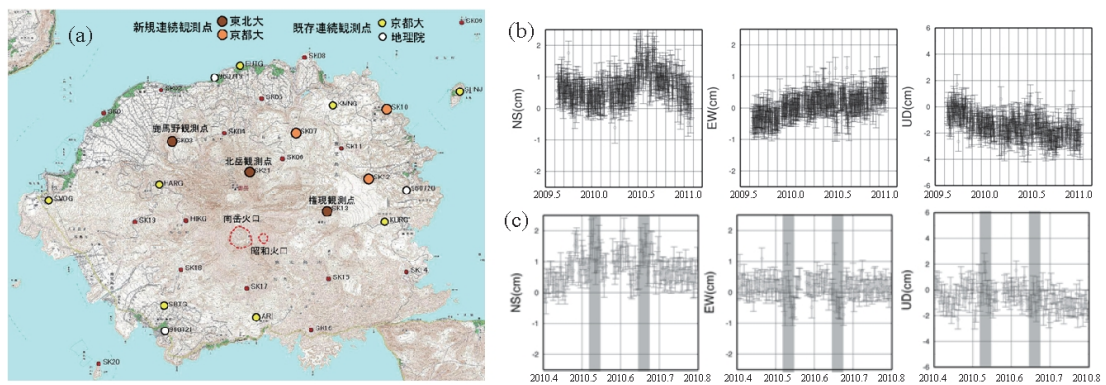


図 2 . 桜島における GPS 連続観測網 (a) と北岳観測点変位時系列 (b,c) .
 (b) 2009 年 8 月 ~ 2011 年 1 月における BM0719 に対する相対変位時系列 , (c) 2010 年 6 月 ~ 10 月

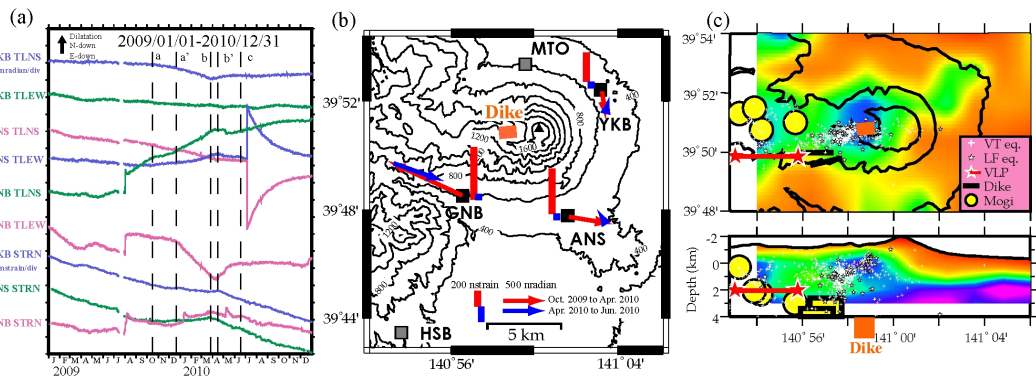


図 3 . 岩手火山で観測された短期地盤変動 (a,b) と変動源モデル (b,c) .
 (a) 傾斜・歪連続記録 , (b) 赤と青のシンボルが 2009 年 10 月 ~ 2010 年 4 月と 4 月 ~ 6 月の変動量 . 橙色長方形は前期の変動源モデル . (c) 岩手火山周辺の P 波速度偏差分布 , 1998 年の活動 (Tanaka et al., 2002) と変動源モデル .

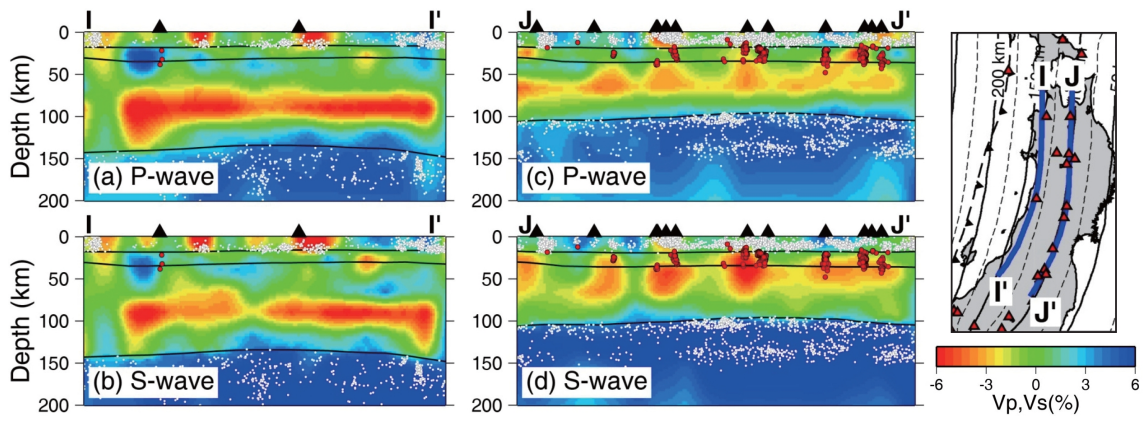


図4．日本海沿岸火山列ならびに火山フロントにそった速度分布．

(a) 日本海沿岸火山列下 (I-I' 断面) の P 波速度偏差, (b) S 波速度偏差, (c) 火山フロント下 (J-J' 断面) の P 波速度偏差, (d) S 波速度偏差の分布．

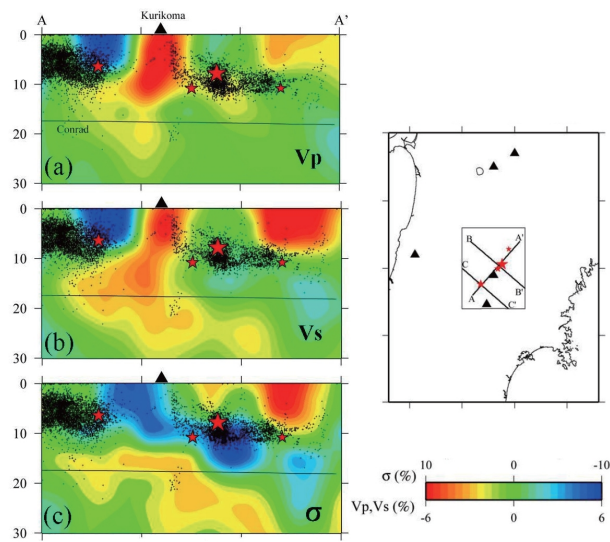


図5．栗駒火山を通る南西 - 北東断面にそった, (a)P 波速度偏差, (b)S 波速度偏差, (c)ポアソン比偏差分布．